

MODELO PARA APLICACIÓN DE RCM AERONÁUTICO
EN COLOMBIA

ANDRES HOYOS ARANGO

UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA
MEDELLÍN
2010

MODELO PARA APLICACIÓN DE RCM AERONÁUTICO
EN COLOMBIA

ANDRES HOYOS ARANGO

Asesor: Santiago Hoyos Lopera

Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA
MEDELLÍN
2010

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	7
1. OBJETIVOS.....	10
1.1 OBJETIVO GENERAL	10
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	10
2. MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD	11
2.1 GENERALIDADES.....	11
2.1.1 Métodos de detección de fallas.....	13
2.2 NORMAS INTERNACIONALES RCM	15
2.3 MANTENIMIENTO DE AVIACIÓN	16
2.4 AVIACION EN COLOMBIA	18
2.4.1 Historia.....	18
2.4.2 Regulación	20
2.4.3 Panorama Local del Transporte Aéreo	21
2.4.4 Panorama Mundial del Transporte Aéreo	24
3. MODELO PARA LA APLICACIÓN DE RCM	26
3.1 PLAN RCM	28
3.1.1 Diagrama de flujo del plan de mantenimiento	32
3.1.2 Metodología para aplicar el Programa de Mantenimiento.....	33
3.2 ANÁLISIS DE MODOS, EFECTOS Y CRITICIDAD DE FALLA (FMECA).....	36
3.2.1 Función	36
3.2.2 Fallas Funcionales	38

3.2.3	Previsiones compensatorias	39
3.2.4	Modos de falla.....	39
3.2.5	Efectos de falla	40
3.2.6	Detección de fallas.....	41
3.2.7	Clasificaciones de Severidad	42
3.2.8	Tiempo medio entre fallas (MTBF).....	42
3.3	SISTEMA DE ANÁLISIS Y VIGILANCIA CONTINUA	43
3.3.1	Auditoría	43
3.3.2	Análisis Operacional	45
3.3.3	Método de Control de Confiabilidad	45
4.	RECOMENDACIONES	47
5.	CONCLUSIONES	48
	BIBLIOGRAFIA	50

LISTA DE ILUSTRACIONES

	Pág.
Ilustración 1. Normas sobre RCM	16
Ilustración 2. Boeing 747 en Mantenimiento	17
Ilustración 3. Algunas Rutas Aéreas en Colombia	19
Ilustración 4. De Haviland Dash 8 en Medellín.....	19
Ilustración 5. Indicadores del Tráfico Aéreo en Colombia	21
Ilustración 6. Pasajeros Transportados en Colombia	22
Ilustración 7. Tráfico Aéreo Domestico en Colombia	23
Ilustración 8. Toneladas de Carga Transportadas en Colombia	23
Ilustración 9. Aumento del Ingreso por Pasajero Kilómetro por Regiones	24
Ilustración 10. Aumento del Ingreso por Tonelada Kilómetro por Regiones.....	25
Ilustración 11. Mapa de proceso de RCM	27
Ilustración 12. Tasa de Confiabilidad en Flotas Pequeñas, ATR 42 de Croatia Airlines	29
Ilustración 13. Tasa de Confiabilidad en Flota de 8 Airbus A320 de Croatia Airlines	30
Ilustración 14. Diagrama de flujo del plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad	32
Ilustración 15. Tren de aterrizaje Boeing 747	38

LISTA DE ECUACIONES

	Pág.
Ecuación 1: Desviación Estándar.....	35
Ecuación 2: Limite Superior	35

INTRODUCCION

La accidentalidad en el mundo aeronáutico en la década de 1950 presentó un promedio de 60 accidentes por cada millón de despegues. Dos tercios de estos accidentes se dieron por fallas presentadas en los aviones. Si no se hubiera hecho nada en ese momento, en este momento habría alrededor de 2 accidentes diarios en algún lugar del mundo.

El gran número de accidentes presentados en esa época, demostró la necesidad de actuar para prevenir estas fallas y de esta manera evitar tantos sucesos, pues evitarlos depende casi exclusivamente del correcto funcionamiento de los equipos técnicos. (Moubray, 1991)

El RCM surgió con el fin de ayudar a las líneas aéreas a establecer un sistema de mantenimiento para nuevos tipos de aviones, antes de que éstos entraran en funcionamiento. Como resultado, el RCM permite desarrollar planes de mantenimiento en equipos complejos, ahorrando errores y pruebas, costosos y complicadas al desarrollar planes de mantenimiento. (Moubray, 1991)

Esta estrategia de mantenimiento, hace énfasis tanto en las consecuencias de las fallas como en las características técnicas de la misma. El RCM integra la revisión de las fallas operacionales con la evaluación de aspectos de seguridad y el medio ambiente, lo que genera que estos últimos factores (Seguridad y medio ambiente), sean tenidos en cuenta a la hora de tomar decisiones importantes en materia de mantenimiento. (Moubray, 1991)

Además, enfoca su atención en las actividades de mantenimiento que más incidencia tienen en el desempeño o funcionamiento de los equipos, esto

garantiza que la inversión que se hace, genera un beneficio determinado. (Solomantenimiento@, 2006)

El RCM reconoce que todo tipo de mantenimiento es válido y genera pautas para decidir cuál es el mecanismo más adecuado en cada situación. Al hacer esto, ayuda a asegurarse de que el tipo de mantenimiento escogido para cada equipo sea el más adecuado y evita los dolores de cabeza y problemas que genera la adopción de una política general de mantenimiento para toda una empresa. (Moubray, 1991)

Por otro lado, la aplicación de este mecanismo, permite reducir la cantidad de mantenimiento rutinario de un 40% a un 70% cuando es aplicado a un sistema de mantenimiento existente. (Solomantenimiento@, 2006)

El RCM es aplicado hace aproximadamente 30 años en la que es probablemente el área más exigente del mantenimiento, la aviación civil. Esto demuestra que ha sido puesto a prueba y mejorado en éste campo, más que ninguna otra técnica existente. (Solomantenimiento@, 2006)

El medio aeronáutico colombiano encuentra en este modelo una buena referencia para aplicar estas técnicas de mantenimiento de una manera más específica en aquellas pequeñas y medianas empresas que aún no tengan implementado un programa de mantenimiento basado en Confiabilidad.

La metodología consiste en tomar las normas internacionales que rigen los principios del RCM e identificar claramente todas las referencias del medio aeronáutico para crear una metodología generalizada para la aplicación del RCM en las empresas relacionadas con este medio. Se hace entonces una caracterización del mercado aeronáutico colombiano y a partir de esa información se genera el modelo específico para la aplicación de la metodología en el sector aeronáutico colombiano de pequeñas y medianas empresas de transporte aéreo

cuya normatividad no exige el control de mantenimiento por métodos de Confiabilidad.

El proyecto permite que al final se obtengan los siguientes resultados:

- Estado del arte completo, identificando claramente cuáles son los principios del RCM, los cuales se originaron del medio, aeronáutico.
- Una caracterización del sector aeronáutico colombiano.
- Un modelo general básico para la aplicación del RCM en el sector aeronáutico colombiano para pequeñas y medianas empresas.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Plantear un modelo de RCM para mantenimiento de aeronaves, acondicionado al medio colombiano, a partir de normas internacionales.

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Identificar los conceptos básicos de RCM (Reliability Centered Maintenance), en especial de la industria aeronáutica. Nivel 1 – Identificar
- Distinguir las características propias de la industria aeronáutica colombiana que la diferencian de las demás en el mundo. Nivel 1 – Identificar
- Revisar documentos pertinentes actuales al RCM aeronáutico, con el fin de establecer parámetros y condiciones adicionales o especiales frente al RCM Clásico. Nivel 2 – Comprender
- Esbozar un modelo RCM especial para mantenimiento aeronáutico, a partir de las normas pertinentes de la industria de aviación y de las normas clásicas: SAE JA1011, SAE JA1014, HMS 2173, entre otras; adecuado al medio colombiano. Nivel 3 – Aplicar
- Concluir los principales resultados obtenidos.

2. MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD

2.1 GENERALIDADES

Hablar de mantenimiento en aviación en principio significa una sola cosa: reparaciones que varían solo en función del tiempo, es decir, hay tiempos estipulados de operación de cada uno de los equipos, y además, se hacen cambios periódicos de piezas, a partir de estos cambios de equipos que a veces eran innecesarios, se genera en las personas encargadas de mantenimiento de estos equipos, el pensamiento de prevención de fallas por cambio de piezas antes de presentar un desgaste.

A partir de este pensamiento surge el RCM en la década de 1960 en la industria de la Aviación Civil Norteamericana y posteriormente es adoptada por las aerolíneas, pues entienden la necesidad de una estrategia de mantenimiento que les permita rebajar costos e incrementar la seguridad de las operaciones

Las aerolíneas, la FAA¹ y los fabricantes de los aviones crean los Grupos de dirección de Mantenimiento que definen específicamente cuales deben ser los parámetros de mantenimiento de las aeronaves. (Moubray, 1991)

La transformación del mantenimiento, y el desarrollo de nuevas formas de análisis sistemáticos en la manutención de los equipos de aviación generan que en este momento viajar en avión sea considerada la manera más segura de transportarse de un lugar a otro. (Revista Iberica, 2007)

¹ FAA: Federal Aviation Administration

A partir de estos estudios y de los parámetros establecidos por los grupos mencionados anteriormente, el RCM es una técnica que se aplica en la mayoría de los países del mundo y aerolíneas.

Cuando se aplica esta técnica y se hace una evaluación de esta, se encuentra que se reducen los costos de mantenimiento, pues en los casos en los que no se aplica los costos de mantenimiento son mucho más elevados y además los equipos se operan de manera peligrosa

La evaluación de los resultados de esas técnicas de mantenimiento muestra, que en muchas ocasiones los costos son mucho mayores y que los equipos se operan de una manera peligrosa, pues las fallas son en ocasiones mayores de las presentadas anteriormente. (Hessburg, 2001)

La aplicación de procesos RCM dentro de cualquier empresa exige que se respondan 7 preguntas en una secuencia ordenada:

- ¿Cuáles son las funciones y los modelos ideales de rendimiento del equipo en su contexto operativo?
- ¿En qué formas no puede cumplir sus funciones (fallas funcionales)?
- ¿Qué ocasiona cada una de las fallas funcionales?
- ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?
- ¿Qué ocurre si falla?
- ¿Qué debe hacerse para predecir o prevenir cada falla (tareas proactivas e intervalos de labores)?
- ¿Qué debe hacerse si una tarea proactiva adecuada no puede ser encontrada (Acciones por defecto)?

Las preguntas deben ser realizadas en ese mismo orden para que el proceso sea considerado RCM. (Moubray, 1991)

2.1.1 Métodos de detección de fallas

Aunque el RCM usualmente se aplica en equipos nuevos, desde el inicio de su vida útil, también se puede aplicar en equipos que tengan ya un periodo de uso determinado.

Existen varios métodos para detectar fallos en el equipo, éstos se aplican a las partes del avión según sea su criticidad, es decir, si no comprometen la seguridad de las personas o el equipo, se puede usar un método que reemplace las piezas cuando fallen, pero si se compromete la seguridad e integridad de las personas, se debe usar un método que sea capaz de predecir cuándo va a fallar una parte. A continuación se presentan dos de estos métodos.

- Condición Inicial

Esta táctica evita predecir las fallas solamente desde el punto de vista de tiempo máximo de vida de las piezas, prefiere más bien tener revisiones o chequeos repetitivos que detectan fallos potenciales. En estos chequeos se deben hacer reemplazos de piezas que no cumplan con el estándar o la condición inicial, es decir, que no pueden cumplir ya de manera segura una determinada función.

Las piezas tienen distintos modos de falla y todos ellos se consideran para un análisis de fallas de la misma pieza, diferente de cómo se hacía antes, que se consideraba un solo modo de falla para todas las piezas. De esta manera, se busca demostrar físicamente que la pieza que se está analizando presenta evidencia de no ser capaz de cumplir con su función de una manera satisfactoria, teniendo en cuenta el modo de falla que se está estudiando. Mientras no exista esa evidencia, la pieza puede seguir operando. (Hessburg, 2001)

Los análisis se deben hacer a las piezas que comprometan la aeronavegabilidad de una aeronave, no sería rentable hacer este análisis a cada uno de los millones de componentes de un avión. (Revista Iberica, 2007)

- Monitoreo de Condiciones:

El monitoreo de las condiciones puede ser tanto un mantenimiento correctivo como un predictivo, este aplica para las piezas que muestran deterioro con el tiempo.

- Mantenimiento correctivo:

En éste, las fallas se detectan cuando ocurren. A este tipo mantenimiento, no pueden estar sometidas piezas cuyas fallas comprometan la seguridad de los equipos o las personas. Éste mantenimiento se puede llevar a cabo de 2 maneras, con el mismo nombre.

El primer caso, se considera por ejemplo, la falla en un bombillo del interior del avión (que se cambia solo cuando deja de funcionar); pero no se puede usar cuando se habla de los discos de las turbinas, pues una falla de ellos compromete la seguridad del avión y los pasajeros y además su reparación conlleva a costos muy elevados.

El segundo caso, se llevan a cabo tareas para buscar fallas escondidas en el avión. Por ejemplo, verificar si los testigos que indican fuego en alguno de los motores del avión no funcionan normalmente, pues esa situación (incendio en los motores) no es algo común. Se debe verificar que esos testigos funcionen correctamente, pues de no hacerlo, en el momento que se presente esa situación, los pilotos no podrían tomar las acciones pertinentes para sortear dicha emergencia.

- Mantenimiento Predictivo:

Con el mantenimiento predictivo, se hace un chequeo de los parámetros normales de funcionamiento de los componentes más críticos de la aeronave. Se comparan las medidas obtenidas en la medición con las medidas patrón, para poder determinar si el equipo está funcionando de manera correcta o incorrecta (por dentro o fuera de los parámetros normales).

Los chequeos se hacen normalmente con los equipos más costosos, entre ellos, los motores. En estos, por ejemplo, se chequea la temperatura de los gases de escape, su consumo, la velocidad, entre otras medidas. Estos parámetros, complementados con el análisis de aceites y análisis de vibraciones, llevan a detectar fallas en un estado incipiente.

Los chequeos permiten hacer reparaciones de los equipos antes de que se presente su falla. (Hessburg, 2001)

2.2 NORMAS INTERNACIONALES RCM

El RCM está regido internacionalmente por normas que definen como debe ser aplicado y desarrollado. Las normas que se pueden aplicar al ámbito aeronáutico fueron desarrolladas por United Airlines y la Fuerza Aérea Norteamericana (USAF). A continuación se presenta una tabla en la que están las normas más importantes en el momento de desarrollar una metodología RCM.

Ilustración 1. Normas sobre RCM

Norma
Handbook Military Standard 2173 - Enero 1986
Manual de Stanley Nowlan y Howard Heap RCM - 1978
MSG2 y MSG3 - 1980
Manuales de John Moubray - ALADON
Norma Británica Terotecnología (TPM - RCM) - BS3811
SAE JA 1012

(Mora, 2006)

2.3 MANTENIMIENTO DE AVIACIÓN

El mantenimiento en la aviación debe ser siempre programado y éste se divide en tres categorías distintas que cubren inspecciones determinadas, cuyos intervalos y tareas van siendo progresivamente más extensos. Primero, se desarrolla un Mantenimiento en Línea dividido en tres inspecciones que se explican a continuación: Tránsito, Diaria y Revisión S.

La inspección de tránsito es un chequeo rápido que se realiza siempre antes de cada vuelo y lo más cerca posible de la salida del avión para comprobar el estado general del mismo: daños estructurales, servicio a la aeronave, entre otras.

La inspección diaria es una revisión que se debe realizar antes del primer vuelo del día, sin exceder en ningún caso las cuarenta y ocho horas entre chequeos, en ella se comprueba el estado general del avión, pero se considera un tiempo adicional para diseñar una acción correctiva si fuera necesario. (Muñoz, 2001)

La Revisión S, se realiza cada cien horas de vuelo. Durante la misma, se comprueban todos los aspectos relacionados con la seguridad alrededor del avión, se desarrollan instrucciones específicas: Se corrigen posibles anomalías y se realiza un servicio al avión, con comprobación de los niveles de fluidos necesarios para el vuelo.

Las aeronaves se someten luego al llamado Mantenimiento Mayor, con el que se cubre completamente el Programa de Inspección Estructural. Este programa considera inspecciones interiores y exteriores de todos los elementos estructurales.

Finalmente, está el mantenimiento comúnmente llamado Gran Parada. Este implica en ocasiones realizar trabajos en el avión tales como quitar por completo la pintura exterior del aparato (para detectar posibles fisuras y posibles fuentes de corrosión en el fuselaje), el cambio de motores (cuando estos han cumplido con el ciclo de vida), cambiar los trenes de aterrizaje cuando están desgastados y cambiar los mandos de vuelos cuando se considera necesario. Además se incluyen pruebas funcionales dentro de las cuales se encuentra un vuelo de pruebas. (Revista Iberica, 2007)

Ilustración 2. Boeing 747 en Mantenimiento



(Revista Iberica, 2007)

El objetivo de la gran parada es revisar minuciosamente todos los elementos o herramientas que conforman la estructura de un avión y cumplir con las exigencias requeridas para la confirmación del buen estado de todos los aparatos. El buen estado técnico del avión garantiza en gran medida la seguridad del vuelo (FAP, 2000)

2.4 AVIACION EN COLOMBIA

2.4.1 Historia

La aviación en Colombia comienza en el año de 1919, con la creación en la ciudad de Barranquilla de la Sociedad Colombo Alemana de Transporte Aéreo (SCADTA), que fue la primera aerolínea de América y la segunda en todo el mundo, pero además, con el surgimiento de esta sociedad, empieza el transporte aéreo de correo en el mundo.

Luego, entendiendo las necesidades del mundo, evoluciona el concepto y empiezan a operar con hidroaviones alemanes Junkers F3 para el transporte de pasajeros. SCADTA en el año de 1940 se convierte en Aerovías Nacionales de Colombia (AVIANCA) que sigue trabajando hasta la fecha, convirtiéndose así en la segunda aerolínea en el mundo. (Credencial, 2005)

El mercado aeronáutico ha permitido que a la fecha existan una gran cantidad de empresas dedicadas al transporte de pasajeros y carga. Entre las más conocidas en Colombia se encuentran Aerorepublica, SAM, Intercontinental de Aviación, Líneas Aéreas Suramericanas, Aero Sucre, AIRES, Satena (Aerolínea del Estado) y por supuesto, AVIANCA, entre muchas otras.

Ilustración 3. Algunas Rutas Aéreas en Colombia



(AIRES@, 2008)

De las empresas mencionadas anteriormente, la gran mayoría prestan servicios regionales, con vuelos cortos, de no mucha altura pero con una frecuencia alta de despegues y aterrizajes. Usualmente los aviones que tienen son Turboprops medianos, que tienen capacidad para transportar alrededor de 50 pasajeros. (El Hangar, 2007)

Ilustración 4. De Havilland Dash 8 en Medellín



La alta frecuencia de vuelos genera que en Colombia el mantenimiento de los aviones no se realice teniendo en cuenta las horas de vuelo realizadas sino más bien analizando la frecuencia de los vuelos. Pero la creciente exigencia de las normas de seguridad que exigen las autoridades y los usuarios, hacen que en este momento sea necesario generar un modelo para una aplicación más práctica (para las condiciones topográficas y climáticas) de la metodología RCM. (El Hangar Colombiano @, 2007)

2.4.2 Regulación

La aviación en Colombia está regulada por la Unidad Administrativa Especial de la Aeronáutica Civil (UAEAC). Todas las regulaciones en cuanto a normas de seguridad, de operación, de certificaciones para fabricación de componentes aeronáuticos, son formuladas, revisadas e impuestas por ella.

En la regulación producida por la UAEAC, se encuentra un capítulo que se refiere directamente a los requerimientos de mantenimiento de las aeronaves, en el cual en lugar de proponer acciones concretas a realizar en los equipos, exige directamente a las empresas que cumplan con los manuales de mantenimiento que cada fabricante propone para cada equipo determinado.

Con el fin de asegurar un nivel de seguridad adecuado en las operaciones aéreas civiles en Colombia, la UAEAC ordena a las empresas a tener vuelos con una regularidad determinada y a cumplir con los itinerarios que están publicados en el portal de internet de dicho ente y a tener implementados programas de confiabilidad en los que se haga un seguimiento al funcionamiento de cada uno de los sistemas del avión.

En la normativa se contempla una diferenciación entre 2 tipos de empresas: las que operan taxis aéreos y las aerolíneas comerciales. Las primeras no están obligadas a cumplir con el programa de confiabilidad si sus aviones vuelan menos

de 100 horas al año, si están por encima de ese límite, deben acogerse a la regulación de las demás aerolíneas además no tienen que cumplir con itinerarios de vuelos, pues su hora de salida y su destino están determinados por la demanda, es decir hasta que el cupo mínimo del avión no se llene, no se inicia el vuelo, en cambio las aerolíneas comerciales deben cumplir a cabalidad con el programa de confiabilidad estipulado por el ente encargado. (Unidad Administrativa de la Aeronautica Civil (UAEAC), 2007)

2.4.3 Panorama Local del Transporte Aéreo

A continuación se muestra una recopilación de datos importantes del sector aeronáutico colombiano. Estos datos hacen parte del Boletín Económico Mensual de la Asociación del transporte Aéreo en Colombia (ATAC) del mes de Febrero de 2010

Ilustración 5. Indicadores del Tráfico Aéreo en Colombia

Cuadro1 - Indicadores del Tráfico Aéreo en Colombia						
Tráfico Enero	Nacional			Internacional		
	2009	2010	Var%	2009	2010	Var%
<i>Pasajeros O-D (miles)</i>	733	1.025	39,8%	509	546	7,3%
<i>Carga O-D (Miles Ton)</i>	6,7	6,9	4,1%	36,4	42,9	18,1%
<i>Oferta de sillas(miles)</i>	1.388	1.701	22,6%	757	779	2,9%
<i>Pasajeros Abordo (Miles)</i>	916	1.243	35,7%	560	607	8,3%
<i>Factor Ocup Pax</i>	66%	73%		74%	78%	
<i>Oferta de toneladas(miles)*</i>	6,4	7,0	8,3%	64,1	61,0	-4,8%
<i>Toneladas Abordo (miles)*</i>	3,8	4,0	5,8%	33,0	41,0	23,9%
<i>Factor Ocup Carga*</i>	59%	58%		52%	67%	
<i>* Únicamente incluye empresas de servicios exclusivos de carga</i>						

(ATAC, Febrero 2010)

En esta tabla, se puede apreciar como el año 2010 inicia con tasas de crecimiento positivas en cada uno de los segmentos del mercado aéreo. Se puede destacar un buen desempeño del tráfico nacional de pasajeros, alimentado esto por el

aumento en la oferta y la importante reducción en los precios de los tiquetes aéreos. Además, se aprecia una tasa de crecimiento positiva en el sector de carga, que había presentado en los últimos 3 años un fenómeno de contracción.

Además, resulta interesante el aumento en el factor de ocupación en el tráfico de pasajeros (relación entre los pasajeros a bordo de un vuelo y las sillas ofrecidas en el mismo) tanto en el mercado nacional como en el internacional.

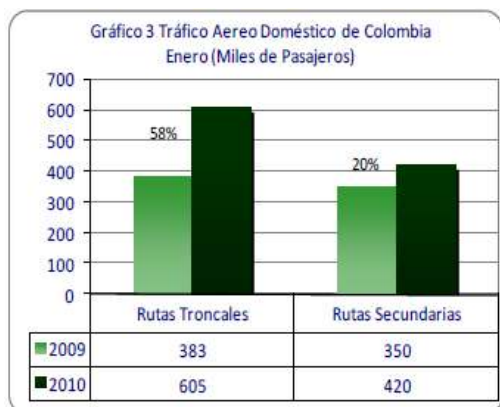
Ilustración 6. Pasajeros Transportados en Colombia



(ATAC, Febrero 2010)

En la ilustración 6 se observa la variación de pasajeros transportados en Colombia, tanto dentro del territorio como en las rutas internacionales. Es claro que aunque en el mercado nacional hubo una reducción entre el 2008 y 2009, entre ese último año y el 2010 se observa una recuperación significativa. En el mercado internacional se nota que la tendencia sigue siendo creciente y que entre estos 2 últimos años el aumento en el número de pasajeros es el doble que entre el 2008 y 2009.

Ilustración 7. Tráfico Aéreo Domestico en Colombia



(ATAC, Febrero 2010)

Ahora, se puede observar que en Colombia la mayor cantidad de pasajeros transportados corre por cuenta de las rutas troncales o rutas principales. Estas rutas son las que conectan a las siguientes ciudades: Bogotá, Medellín, Cali, Cartagena, Barranquilla, Santa Marta, Montería, Cúcuta, Pereira y Bucaramanga. El resto de pasajeros vuelan entre las demás ciudades, claro que más de 400 mil pasajeros/mes en una ruta no es una cifra despreciable. Se Presentó en ese mes (Enero 2010) un incremento de 58% en las rutas troncales y del 20% en las rutas secundarias, comparándose con el mismo mes del año anterior.

Ilustración 8. Toneladas de Carga Transportadas en Colombia



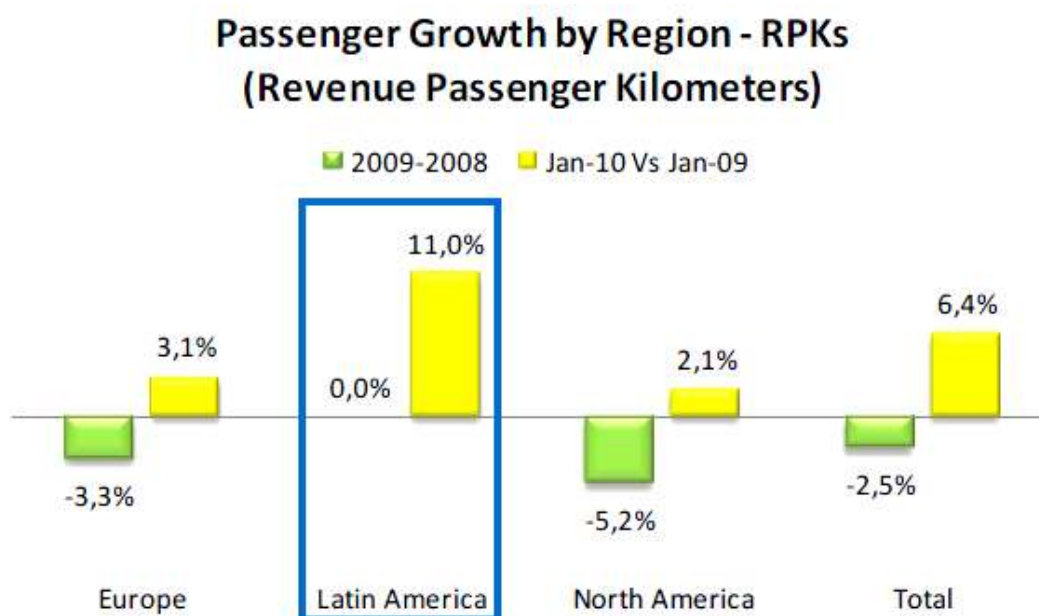
(ATAC, Febrero 2010)

En el mercado de transporte de carga, se puede ver que la tendencia a la baja de los años anteriores se ha frenado y se ha empezado a ver un incremento significativo (especialmente en el transporte internacional) en las toneladas transportadas.

2.4.4 Panorama Mundial del Transporte Aéreo

Ahora se hará una revisión general de los indicadores del sector aeronáutico en el mundo.

Ilustración 9. Aumento del Ingreso por Pasajero Kilómetro por Regiones

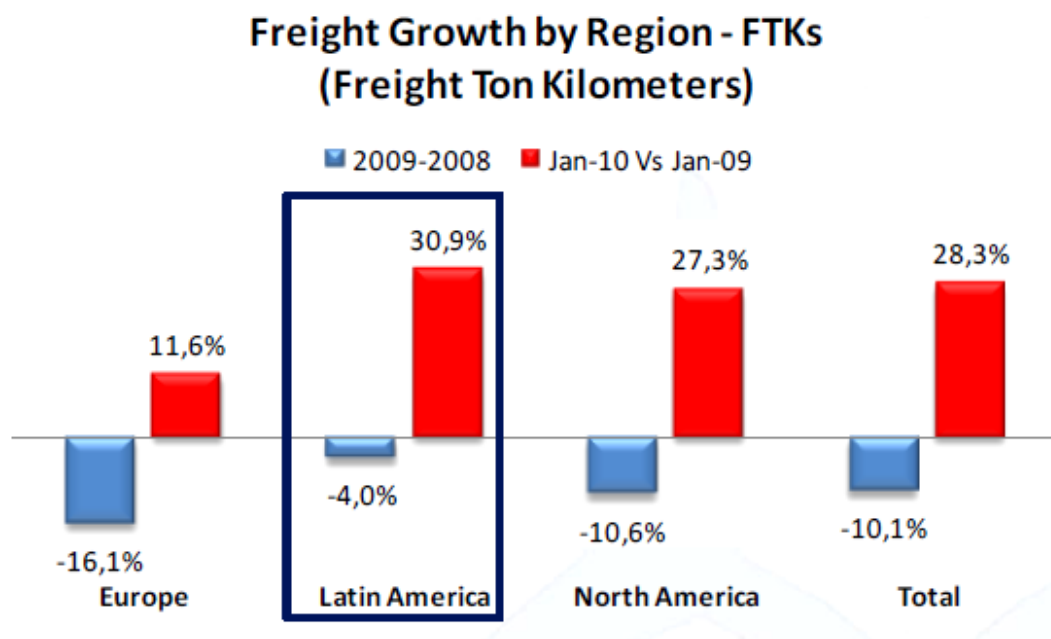


(ATAC, Febrero 2010)

En enero de 2010 se registró un incremento de 6.4% en el ingreso por pasajero kilómetro. Cuando se compara con el resultado de los años 2009 – 2008, se nota el cambio de tendencia de meses anteriores y presenta un panorama prometedor para este año.

En Latinoamérica se registró en Enero un crecimiento del 11%, sensiblemente superior al consolidado mundial

Ilustración 10. Aumento del Ingreso por Tonelada Kilómetro por Regiones



(ATAC, Febrero 2010)

En el sector de carga, se observa que los ingresos por tonelada kilometro transportado han aumentado en una manera considerable, teniendo un 28,3% con respecto al consolidado 2008 – 2009, cuando se tuvo una caída del 10,1%.

En Latinoamérica se aumentó en un 30,9% contra una caída del 4% en el periodo 2008 – 2009.

Se puede concluir de estos gráficos que la industria aeronáutica mundial ha presentado en este último año una recuperación, tanto en la aviación

3. MODELO PARA LA APLICACIÓN DE RCM

Antes de empezar éste capítulo, es necesario definir correctamente que es un modelo.

Un modelo debe tener tres características para que se pueda considerar como tal:

- Un modelo está basado en un original.
- Un modelo solo refleja una selección (relevante) de las características del original.
- Un modelo debe utilizarse, en lugar del original, con respecto a algún propósito.

Las dos primeras características se cumplen simultáneamente cuando se hace una proyección, pues esto implica un punto de partida (original) y que alguna información se perdió en el proceso de proyección (selección relevante), y es claro que la información que se pierde en este proceso, depende del fin último del modelo. (Stachowiak, 1973)

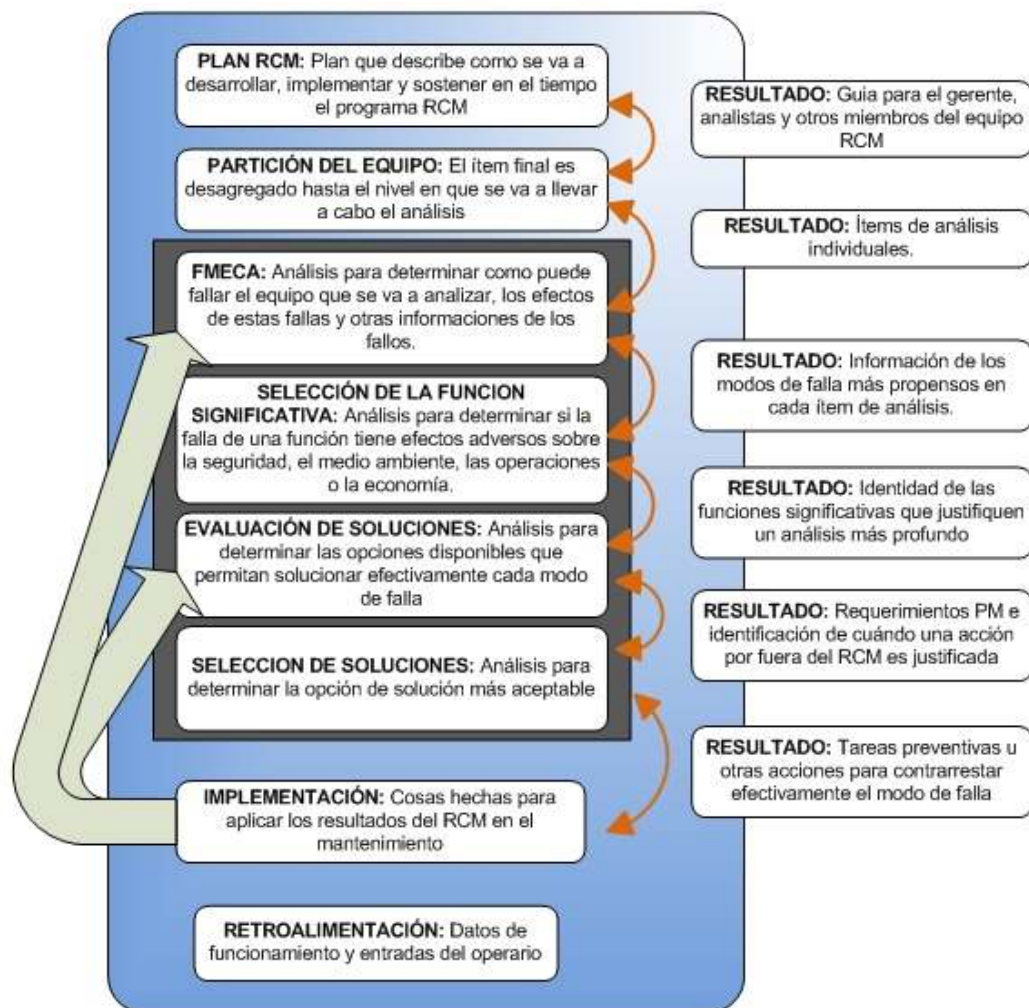
La tercera característica, se cumple al detallar cuál es el propósito del modelo, pues éste puede contener información:

- Sobre algo(contenido, significado)
- Con algún propósito (contexto de uso).

Con esto en mente, se puede entonces definir exactamente cuál es el modelo que se va a tratar.

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) está basado en datos estadísticos del funcionamiento de los equipos. Estos datos pueden provenir de distintas fuentes, ya sea de la experiencia de operar esos equipos en la empresa o de informes que las autoridades aeronáuticas o los fabricantes den a conocer.

Ilustración 11. Mapa de proceso de RCM



Adaptado de: (Naval Air Systems Command (NAVAIR), 2005)

El proceso de análisis de RCM incluye llevar a cabo análisis de modos, efectos y criticidad de falla (FMECA), seleccionando funciones relevantes y llevando a cabo una evaluación y selección de soluciones para evitar estos fallos.

Un programa de RCM no es algo sencillo, ni que se pueda hacer de manera rápida. Ésta estrategia incluye el trabajo de todas las personas de la empresa, pues se debe coordinar muy bien todo el trabajo de las personas que hacen el mantenimiento de los equipos, como de los ingenieros que lo planean y supervisan con los estamentos administrativos de la empresa. (Naval Air Systems Command (NAVAIR), 2005)

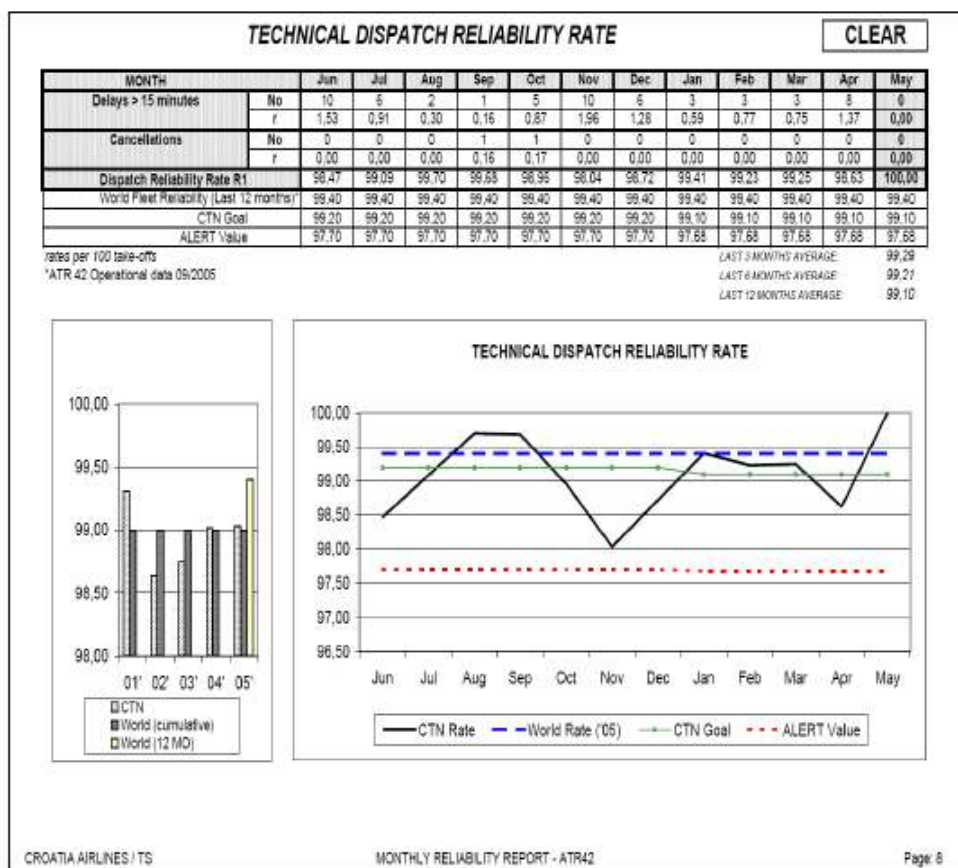
Para poder implementar un programa de RCM primero se debe tener un plan, en el que se determinen cuales van a ser los alcances del mismo, a que equipos se le va a realizar, cual es el periodo de tiempo en el que se esperan resultados, entre otras cosas. A partir de ahí se pasa a la fase de partición del equipo, para poder saber a qué ítems se les llevará un seguimiento, y hasta que nivel de desagregación se llegará. Posteriormente se llega a la etapa de análisis RCM en sí, con el análisis de modos, efectos y criticidad de falla (FMECA). Éste modelo se centrará en esa parte, pues éste es la base para que el resto del programa esté bien ejecutado, y se refiere a aspectos netamente técnicos del funcionamiento y fallas del equipo.

3.1 PLAN RCM

Para poder obtener resultados del programa de mantenimiento, la información que se obtenga de la operación de las aeronaves debe ser estadísticamente significativa, Cuando se tiene una flota de aeronaves pequeña (como es el caso de muchas aerolíneas en Colombia), suceden muy pocos eventos en los que se pueda generar información suficiente para alimentar este programa, por lo tanto, los resultados no van a reflejar de una manera adecuada la realidad y no serán confiables.

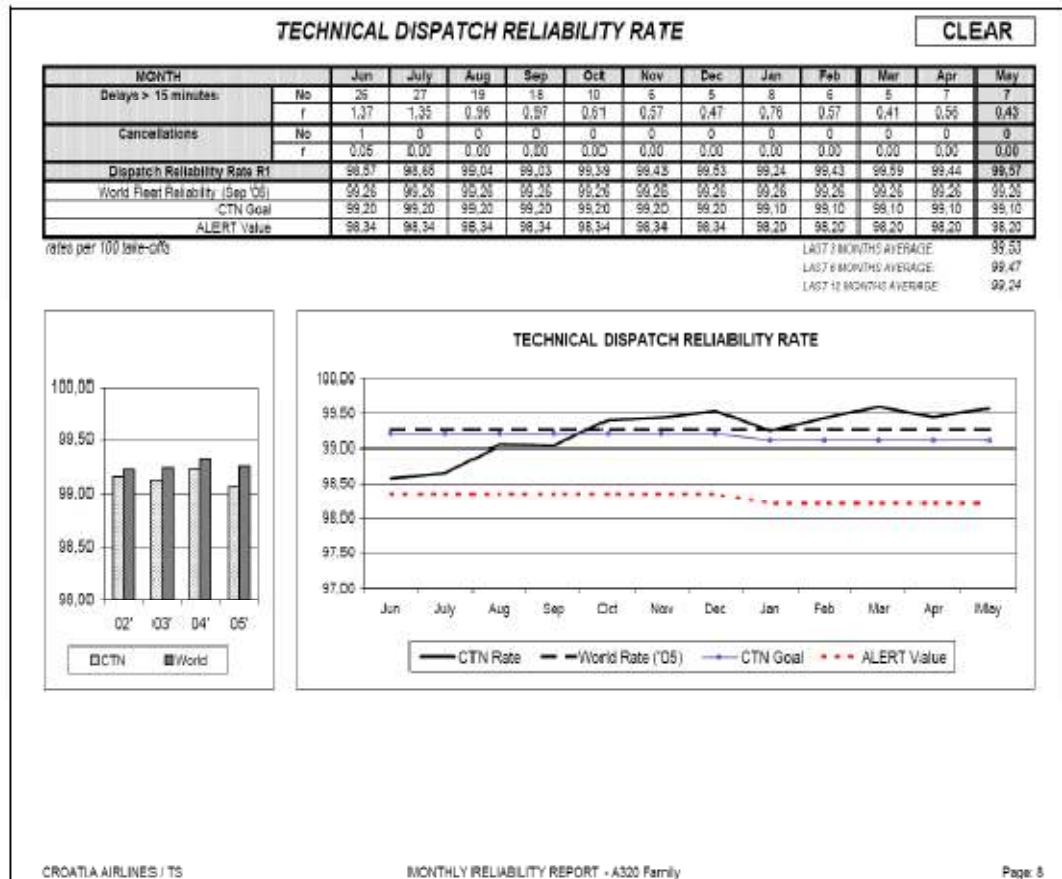
La experiencia ha demostrado que cuando se operan flotas pequeñas (de uno a cinco aviones), los resultados en los análisis de confiabilidad muestran una dispersión de datos mayor que en flotas más grandes.

Ilustración 12. Tasa de Confiabilidad en Flotas Pequeñas, ATR 42 de Croatia Airlines



(Marušić, y otros, 2007)

Ilustración 13. Tasa de Confiabilidad en Flota de 8 Airbus A320 de Croatia Airlines



(Marušić, y otros, 2007)

En la ilustración 12 y 13, se muestra una tabla en la que se lleva registro de los retrasos mayores a 15 minutos y cancelaciones que en un periodo de 1 año tuvieron 2 flotas de aviones. La pequeña, compuesta por 3 ATR 42 y la segunda por 8 Airbus A320.

En la ilustración 12 se aprecia como el tener una flota pequeña de aviones impide que se muestre una tendencia determinada, esto es generado por el alto impacto que tiene sobre la estadística el fallo de uno de los aviones.

En la ilustración 13 se observa cómo se comporta una flota más grande en el mismo periodo de tiempo. En la gráfica se observa que la tasa de confiabilidad aumenta en el tiempo, gracias al programa de mantenimiento implementado.

Para evitar el fenómeno de dispersión presentado en el caso de la flota pequeña, los datos se deben suavizar, para obtener datos más ajustados a la realidad.

Teóricamente éstos se pueden suavizar de dos maneras:

- Calcular valores aproximados.
- Compartiendo información de confiabilidad con otras empresas que tengan flotas y condiciones de operación similares.

Los valores aproximados se obtienen de calcular sobre una base mensual los acontecimientos que han sucedido en los últimos 3 meses. Este método incrementa artificialmente el tamaño de la flota 3 o más veces y consecuentemente se suavizan 3 o más veces los datos. Estos datos, reflejan el comportamiento de la flota propia, pues no comparte ni compara datos con operadores similares.

Sin embargo, en el análisis se debe tener cuidado, pues si se tiene un problema que es repetitivo en una aeronave (por ejemplo una falla que es evidente ocasionalmente en vuelo, pero que en el mantenimiento en tierra no se puede reproducir) en el análisis se va a mostrar como un problema que afecta a toda la flota. Estos problemas se deben aislar de los datos, para evitar contaminar los datos de problemas que afectan toda la flota con problemas particulares de un avión.

Compartir la información de confiabilidad con otras empresas entrega una información que estadísticamente es significativa y por lo tanto se podría pensar que la información obtenida por ese método es confiable, pero desde el punto de

vista técnico, las operaciones de las otras aerolíneas pueden no ser tan comparables con las propias, y esto puede llevar a sacar conclusiones equivocadas sobre la flota propia.

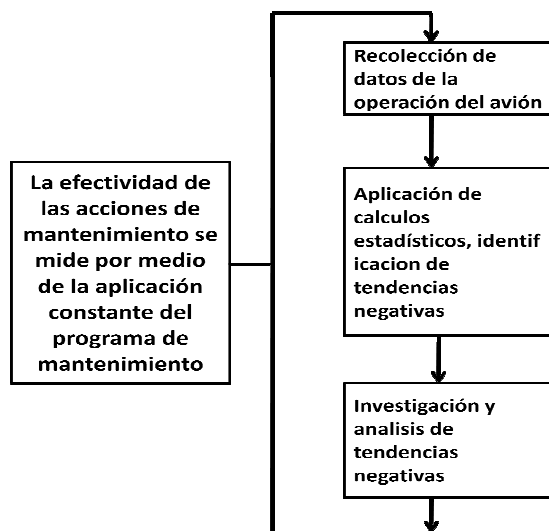
3.1.1 Diagrama de flujo del plan de mantenimiento

El programa de mantenimiento está basado en el hecho de que el nivel de confiabilidad de un sistema, componente o aeronave está sujeto a:

- Influencia del medio ambiente en el que se lleva a cabo la operación.
- Tipo de operación.

Si existen tendencias negativas de la confiabilidad promedio de un tipo de aeronave con respecto de los estándares mundiales, puede ser consecuencia directa de la operación a la que el equipo está siendo sometido.

Ilustración 14. Diagrama de flujo del plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad



Adaptado de (Marušić, y otros, 2007)

En el diagrama de flujo se muestra que primero se recogen los datos de la operación, para luego analizarlos y llevar a cabo las acciones para mejorar las tendencias negativas en la operación.

3.1.2 Metodología para aplicar el Programa de Mantenimiento

El programa de mantenimiento debe contar con la aprobación de la autoridad aeronáutica del país, por eso debe estar por escrito, y debe especificar tanto, los procedimientos como las responsabilidades de las personas al interior de la organización para poderlo aplicar.

- Parámetros de evaluación

Para este programa se proponen los siguientes parámetros, sobre los cuales se va a evaluar el desempeño de la organización en general.

- Número de quejas de piloto por cada 100 vuelos.
- Numero de retrasos técnicos de más de 15 minutos, o cancelaciones por cada 1000 vuelos.
- Número de componentes reemplazados por cada 100 horas de operación.
- Número de apagadas de motor en vuelo por cada 100 horas del motor.
- Numero de cambios no programados de motor por cada 1000 horas del motor.
- Quejas repetitivas de pilotos.
- Fallas significativas encontradas durante mantenimientos programados.

Se deben tomar datos de estos indicadores por lo menos durante un año, para detectar posibles tendencias en la flota.

- Límites de alerta

Para cada parámetro medido, se debe determinar un valor límite superior. Este valor se usa para reconocer y reaccionar ante desviaciones significativas de un límite de confiabilidad aceptado.

El límite es un valor estadístico que muestra el límite por debajo del cual las desviaciones son consideradas estadísticamente aceptables. Si ese valor se excede, el programa de confiabilidad se considera como inestable.

Cuando se excede repetidamente el límite, se considera como una tendencia negativa, que se debe parar aplicando acciones correctivas y si ese comportamiento (el de exceder los límites) se repite durante 3 meses, se confirma que se está ante una tendencia negativa de los índices de confiabilidad y que una acción para parar esa tendencia es obligatoria.

El límite de alerta está basado en el cálculo estadístico de la desviación estándar a partir de los datos de los 12 meses anteriores. No se debe ubicar muy alto, pues podría pasar por alto las tendencias negativas, y tampoco muy bajo, pues cualquier desviación podría ser considerada erróneamente como una tendencia negativa.

El factor de desviación lo establece el operador y este depende de la dispersión de los datos. Se recomienda tener un factor más pequeño para flotas grandes y uno grande para flotas pequeñas.

Así se determina el factor de desviación:

Ecuación 1: Desviación Estándar

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x^2) - \frac{(\sum x)^2}{N}}{N - 1}}$$

En donde:

x : *valor mensual del parametro observado*

σ : *Desviacion estandar*

N : *Número de meses observados*

Calculo de Límite Superior:

Ecuación 2: Limite Superior

$$LS = \bar{x} + k\sigma$$

En donde:

$$\bar{x} = \sum x / N$$

k : *Factor de desviación (usualmente entre 2 y 3)*

El cálculo del límite superior se debe hacer cada 12 meses, y su variación debe estar de acuerdo a los resultados obtenidos del programa de confiabilidad. Su variación no debe ser mayor de 10% cada vez.

Cuando ya se tiene la información, se debe analizar y detectar cuál o cuáles son las fallas más recurrentes. Cuando ya se hayan detectado, se debe hacer, para las

más significativas un análisis mucho más profundo, para encontrar las causas que la o las genera. (Marušić, y otros, 2007)

Para esto, el Plan de Confiabilidad incluye dentro de sus herramientas el análisis de modos y efectos de falla. A continuación se tratará esta metodología con más precisión.

3.2 ANÁLISIS DE MODOS, EFECTOS Y CRITICIDAD DE FALLA (FMECA)

EL FMECA es un proceso usado para identificar y documentar las funciones, fallos funcionales, modos de falla y efectos de falla de una parte. Es usado para determinar la relevancia de fallos funcionales en términos de seguridad, medio ambiente, operatividad y económico. Clasifica además la severidad de cada efecto de falla de acuerdo a un criterio de clasificación determinado y provee información de la clasificación de los fallos.

El FMECA empieza con la desagregación del equipo. Esta partición muestra las relaciones de cada ítem con otros ítems

Puede suceder que algunas funciones, fallas o efectos ocurran solamente o de una manera diferente, bajo algunas situaciones operacionales. El FMECA debe indicar claramente cuando las funciones, modos de falla y efectos dependen de circunstancias o ambientes operacionales específicos.

3.2.1 Función

Una función es el propósito previsto de un ítem tal y como se describe por un estándar de funcionamiento. No es necesariamente aquello que el ítem es capaz de hacer. Una descripción completa de función debe incluir cualquier límite de funcionamiento (límites superiores e inferiores).

Aunque casi todos los equipos están diseñados para desarrollar una función específica o única, muchos sistemas pueden desarrollar funciones múltiples o secundarias. Algunas funciones operan solamente ante una demanda del usuario (un asiento de eyección en un avión de combate), mientras que otras operan constantemente. Se debe tener cuidado de no pasar por alto ninguna función y que la definición de cada función sea clara incluyendo cualquier contexto operacional relacionado con ella.

Podría asegurarse que todos los equipos tienen funciones secundarias y ellas no son tan obvias como las funciones principales. Un fallo en estas puede acarrear consecuencias más graves.

Por ejemplo, el sistema de tren de aterrizaje de un avión, además de los sistemas de soporte y amortiguación, el sistema de frenos, las funciones de dirección en tierra para el avión y los sistemas de control que sensan la posición de las ruedas, tiene un sistema hidráulico por medio del cual se retrae o despliega las ruedas del avión.

Este sistema, además de funcionar como soporte para el avión en la tierra tiene varias funciones secundarias: El sistema hidráulico tiene una bomba que provee la presión necesaria para el funcionamiento, tiene un actuador que es el que permite el movimiento de las ruedas, tiene válvulas para controlar estos movimientos, y un tanque para almacenar el fluido del sistema. Además, los sensores generan información de la posición de las ruedas, y los amortiguadores proveen confort al pasajero mientras el avión carretea, despegue y aterriza.

Ilustración 15. Tren de aterrizaje Boeing 747



(@FlightGlobal, 2007)

Las funciones no deben ser combinadas cuando sus consecuencias de falla sean diferentes. En el caso de un sistema de tren de aterrizaje retráctil de un avión, se puede pensar que la función de desplegarlo y replegarlo puede ser juntada en una sola. Pero las consecuencias de un fallo en estas 2 funciones no son las mismas. Si un avión no retrae las llantas después del despegue, no se ve afectada su capacidad de volar; mientras que si el sistema para desplegar las llantas falla, el avión puede sufrir un accidente con consecuencias graves.

3.2.2 Fallas Funcionales

Una falla funcional está definida como la inhabilidad de un ítem de cumplir con su función dentro de los límites especificados. Una falla funcional no necesariamente implica una pérdida total de las funciones del ítem.

Una descripción adecuada de una falla funcional depende de una descripción clara de la función misma. Si en un mismo ítem las fallas causadas por la pérdida parcial de funciones y la pérdida total de funciones son diferentes, ambas fallas se deben describir.

3.2.3 Previsiones compensatorias

En la aviación, cualquier falla puede convertirse fácilmente en falla catastrófica. Por eso se han desarrollado sistemas redundantes que, en caso de una falla, puedan seguir funcionando y de esa manera evitar una falla que ponga en riesgo la vida de seres humanos. Por eso se llaman previsiones compensatorias, pues se diseña previendo compensar los efectos de una falla determinada sobre un sistema.

El FMECA debe tener en cuenta cada una de estas previsiones y especificar las fallas funcionales de los sistemas de emergencia

Las previsiones sirven para indicar los efectos de falla, la criticidad y las consecuencias de un fallo determinado.

3.2.4 Modos de falla

Un modo de falla es una condición física específica que puede resultar en un fallo funcional. Una descripción correcta de un modo de falla debe incluir el mecanismo de la falla (por ejemplo: fatiga del material) además de la condición específica en la que esta falla se puede presentar.

Identificar los modos de falla puede ser muchas veces complicado, por esto solo se debe hacer énfasis en aquellos que sean razonables. Las descripciones de los modos de falla deben ser tan descriptivas como sea posible para eliminar confusiones sobre cuál es el modo de falla y cuándo éste ocurre, esto para evitar listar modos de falla redundantes, para relacionar informaciones operativas al modo y para ayudar el desarrollo adecuado de una estrategia para atacar esos modos de falla.

Los datos disponibles para identificar un modo de falla determinado, están dados por el historial de servicio del equipo. En estos historiales están registrados todos los incidentes en los que la seguridad de alguno de los componentes del avión se ha visto comprometida.

Dentro de los análisis de modos de falla se debe considerar el contexto operativo de los aviones, pues algunas condiciones ambientales específicas pueden acelerar el deterioro los componentes.

3.2.5 Efectos de falla

El efecto de falla se describe como el resultado de una falla funcional en los ítems que están a su alrededor, la capacidad funcional del ítem y peligro para las personas o el ambiente.

En los análisis de efectos de falla se debe incluir toda la información de daños físicos, sean primarios (por causa directa del fallo) o secundarios (consecuencias a partir del daño primario) y las acciones que se deben llevar a cabo para restablecer el funcionamiento adecuado del equipo.

- Ejemplo de descripción de efecto de falla
 - Efecto local: Actuador hidráulico no provee la fuerza de salida necesaria.
 - Efecto siguiente superior: Pérdida de las funciones de las superficies de vuelo.
 - Efecto en el equipo: Pérdida de los pasajeros, tripulación y avión.

Entender como la ocurrencia de una falla afecta cada nivel funcional de un sistema del equipo es esencial para determinar las consecuencias finales en el equipo.

La mayoría de los FMECA identifica 3 niveles de efectos de falla: local, siguiente superior y efecto en el equipo. Usualmente tres niveles son suficientes para la mayoría de los análisis, pero según el caso se pueden eliminar o adicionar niveles para el análisis.

Las fuentes de información para realizar los análisis de efectos de fallas incluyen los manuales de mantenimiento de los aviones, reportes de defectos, planos, contacto con los encargados del mantenimiento, laboratorios de materiales, resultados de test, y diagramas funcionales de bloques.

3.2.6 Detección de fallas

La detección de fallas es la técnica por medio de la cual las fallas funcionales se hacen evidentes y se identifican sus modos de falla. Los métodos de detección de fallas están enmarcados dentro de 2 categorías: (1) aquellos que son usados por quienes operan los equipos para detectar fallas funcionales o los efectos de fallas funcionales; y (2) aquellos que son empleados por el técnico de mantenimiento para determinar cual modo de falla ocurrió para causar la falla funcional.

Los métodos usados por el operador del equipo para detectar fallos funcionales pueden variar entre diferentes modos de falla debido a los daños secundarios que pueden ser causados por cada modo de falla. Estos métodos incluyen señales de alerta visuales (luces, indicadores), señales de alerta auditivas (sirenas, alarmas) y efectos operativos en el equipo (vibración, humo, ruido, pérdida de control). Esta información es usada en el análisis RCM para determinar si el operador puede detectar las fallas funcionales durante la operación del equipo y de esa manera reducir al máximo las inspecciones intrusivas o acciones de mantenimiento tanto como sea posible, para asegurar la disponibilidad del equipo y unos costos de mantenimiento bajos.

Los métodos empleados por el técnico de mantenimiento utilizan bases de metodologías para solución de problemas (troubleshooting), pero emplean para su análisis las observaciones entregadas por el operador del equipo, pero no se queda solamente en esas observaciones. A partir de ellas realiza chequeos de presiones, de voltajes, inspecciones visuales y demás acciones que permitan asegurar que los equipos cumplen con los estándares mínimos para asegurar su operación segura. Finalmente se hace un intento por reducir al máximo las actividades intrusivas del mantenimiento.

3.2.7 Clasificaciones de Severidad

Las clasificaciones de severidad son asignadas a los modos de falla a partir de los impactos que los efectos de falla, asociados a ellos, puedan generar. Clasificando los modos de falla de esta manera, se genera una fuente primaria para poder determinar la prioridad con la que debe ser abordada cada una de las fallas.

Históricamente las clasificaciones de severidad se han enfocado en revisar las fallas con los peores efectos y, a partir de ellos, determinar esa clasificación. Y, aunque está bien clasificar en base a los peores efectos, también se deben tener en cuenta algunos efectos menos catastróficos o graves con su probabilidad de ocurrencia. Esto último es importante, pues con frecuencia las fallas que tienen efectos menores o leves tienen una probabilidad de ocurrencia mucho mayor. Por ejemplo, una falla que no tenga efectos graves o catastróficos, pero que tenga una frecuencia de ocurrencia muy alta, genera graves consecuencias operacionales (incumplir los itinerarios de vuelo) o económicas.

3.2.8 Tiempo medio entre fallas (MTBF)

El MTBF es una medida básica de confiabilidad y es usualmente definida como el tiempo promedio en el que un componente o un sistema trabaja sin ninguna falla. Usualmente el componente “tiempo” de la medida es reemplazado por otra unidad

de medida que sea más adecuada para el modo de falla al cual se refiere (horas de vuelo, horas de operación, entre otras).

Aunque puede pensarse que éste es un concepto muy simple, pero existe una gran cantidad de maneras de determinar esta medida, dependiendo del uso que se le va a dar, por eso es muy importante definir como el MTBF se va a usar en el análisis RCM para poder definirlo adecuadamente. (Naval Air Systems Command (NAVAIR), 2005)

Dentro del contexto del análisis RCM el MTBF es usado para 4 propósitos básicos:

- Para determinar la frecuencia y la necesidad de hacer chequeos de la condición de los equipos. (fuera de los chequeos rutinarios de seguridad)
- Para determinar la necesidad y frecuencia de tareas para encontrar fallas.
- Para documentar una medida relativa de la confiabilidad en el FMECA para usarlo en la evaluación de futuras estrategias de administración de fallas.
- Para priorizar modos de falla que puedan requerir un análisis más exhaustivo.

3.3 SISTEMA DE ANÁLISIS Y VIGILANCIA CONTINUA

El sistema de análisis y vigilancia continua debe tener procedimientos efectivos para monitorear y llevar a cabo una auditoria de los diferentes aspectos que intervienen en el Sistema de Mantenimiento, específicamente en lo siguiente:

3.3.1 Auditoría

En la auditoría, se debe incluir un examen de aspectos administrativos y de supervisión de mantenimiento aplicado, eso incluye mantenimiento hecho fuera de

las instalaciones propias de la empresa. La auditoría debe asegurar que en la base principal y en las auxiliares se siguen los procedimientos aprobados en el Manual General de Mantenimiento (MGM).

La auditoría incluye:

- Asegurar que el personal técnico tiene las licencias adecuadas y vigentes, que tiene un entrenamiento constante, de acuerdo a las labores asignadas.
- Asegurar que tanto los procedimientos establecidos en el MGM y en los Manuales de las aeronaves están siendo utilizados en el desarrollo de las labores asignadas.
- Asegurar que los Manuales y tarjetas de trabajos están actualizadas al día, están disponibles para su uso y son realmente utilizados.
- Asegurar que las herramientas y equipos utilizados son las recomendadas por el Fabricante de los aviones, están calibrados cuando lo requieran, y existen en suficiente cantidad para las labores ejecutadas.
- Asegurar que las alteraciones o reparaciones mayores sean clasificadas adecuadamente y ejecutadas con documentos previamente aprobados, si lo requieren.
- Asegurar el seguimiento de componentes removidos y el reporte de condición encontrada durante el desarme o visita al taller, esto para poder ajustar el tiempo entre reparación general. (overhaul).
- Asegurar que los talleres externos están adecuadamente autorizados, clasificados, controlados y equipados para ejecutar los trabajos contratados según MGM de la empresa.
- Asegurar que los repuestos están adecuadamente almacenados y protegidos. Además, debe asegurar que la procedencia de repuestos sea confirmada hasta un fabricante aprobado (trazabilidad).

3.3.2 Análisis Operacional

Dentro del análisis operacional, se incluye el monitoreo y la respuesta a situaciones de emergencia relacionadas al rendimiento de los sistemas de la aeronave, incluyendo motores y componentes. Esta función incluye:

- Monitoreo día a día: Incluye el análisis de problemas mecánicos que afectan las aeronaves en la operación de las últimas 24 horas de operación.
- Monitoreo de la respuesta de la empresa ante situaciones de emergencia operacional: La forma de identificar y determinar las causas de la emergencia o situación crítica buscando acciones correctivas tendientes a eliminar la repetición de esas situaciones.
- Monitoreo semanal de reportes pendientes buscando acciones correctivas para reducir su número y repetición. (Unidad Administrativa de la Aeronautica Civil (UAEAC), 2003)

3.3.3 Método de Control de Confiabilidad

El control de confiabilidad incluye un sistema de recolección de datos, análisis de datos, acciones correctivas, estándares de rendimiento, cuadros y gráficos, ajuste de intervalos y revisión al programa de mantenimiento.

- Recolección de datos: Reporte de los pilotos por demoras, cancelaciones, cortes de motores, remociones no programadas, fallas confirmadas, datos de motores en vuelo, pruebas funcionales, pruebas de banco, hallazgos de taller, reportes de interrupciones mecánicas entre otros.
- Análisis de Datos: Se hace un análisis de los cuadros y gráficos para identificar cuáles son las necesidades de ajustes al programa de mantenimiento, se revisan las prácticas de mantenimiento, posibles mejoras en los sistemas, revisión del programa de entrenamiento. El paso inicial del

análisis es la comparación de datos contra estándares aceptados. Los estándares pueden ser promedios operacionales.

- Sistema de Acciones Correctivas: Las acciones tomadas deben llegar al restablecimiento del rendimiento de un sistema a un nivel aceptable.
- Estándares de Rendimiento: Es una medida expresada numéricamente en términos de fallas de componentes, reportes de piloto, demoras o algún otro evento sirve como la base de un estándar. El desarrollo de límites de control o valores de alerta es usualmente basado en métodos.
- Cuadros y Gráficos: Se debe desarrollar un reporte mensual con los estándares de rendimiento estadístico, datos apropiadamente presentados y resumen de previos períodos. Este reporte debe cubrir los sistemas del avión para poder evaluar la efectividad del mantenimiento. Allí se deben resaltar los sistemas que han excedido los estándares establecidos y se deben discutir las acciones tomadas al respecto y cuales se están planeando. (Unidad Administrativa de la Aeronautica Civil (UAEAC), 2003)

4. RECOMENDACIONES

Este proyecto es un esbozo de cómo debería ser un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), a partir de las normas internacionales y la reglamentación colombiana.

Los avances que se han hecho en la confiabilidad refiriéndose a los aviones son importantes, tratando éstos de permitir que las aerolíneas aumenten aun más sus altos niveles de seguridad, así como de tratar de reducir costos de inventarios de repuestos.

Se recomienda que, a partir de este proyecto, se formule uno que haga una aplicación en un caso real en el que se muestre la potencial reducción de costos por eliminar los mantenimientos no programados, por reducir al máximo las cancelaciones y retrasos; además del aumento en la confiabilidad operativa de la empresa.

5. CONCLUSIONES

Cuando se pretende aplicar un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) en la industria aeronáutica se deben tener en cuenta las regulaciones y normas establecidas por las autoridades aeronáuticas del país, en este caso las dadas por la Unidad Administrativa Especial de la Aeronáutica Civil.

Para las empresas relacionadas con el sector aeronáutico en Colombia, es una exigencia desarrollar un plan de confiabilidad basado en las técnicas y normas internacionales de RCM.

Aunque el RCM fue desarrollado en la década de 1960, tiene en la actualidad más vigencia que nunca, pues es imperativo que el sector aeronáutico mantenga e incremente sus niveles de seguridad operativa, y la mejor estrategia para lograrlo es tener un plan de RCM bien desarrollado en cada industria.

Los planes de RCM no son genéricos, dependen en gran medida de las condiciones de operación de la empresa en la cual se está desarrollando, por eso los análisis FMECA deben ser desarrollados de una manera muy juiciosa y exhaustiva para asegurar resultados de ésta estrategia.

Llevar a cabo el seguimiento de las condiciones operativas de los aviones es primordial para desarrollar un plan RCM adecuado a la realidad de la empresa.

Existen muchas fuentes de información para aprender sobre los planes de RCM, pero para asegurar que el plan que se está desarrollando es el adecuado, se debe consultar en las normas internacionales que se refieren a éstos planes, tales como: SAE JA1011, SAE JA1014, HMS, entre otras.

Las aplicaciones militares del RCM son una muestra clara del éxito de estos programas incluso en flotas de aviones muy grandes.

La legislación colombiana referente a la seguridad aérea es suficiente para permitir una operación segura para los pasajeros, la tripulación y los equipos.

El modelo que se presenta en este trabajo, da herramientas para que se aplique en las empresas colombianas de aviación, dando parámetros para que se ponga en funcionamiento según las características típicas de la aviación en Colombia.

Para plantear el modelo, se partió de la definición general de lo que es un modelo y a partir de una norma original, se hizo una abstracción y a partir de ella se planteó un programa para aplicar el mantenimiento en Colombia.

Una de las dificultades mayores fue lograr abstraer de toda la información de RCM lo importante y relevante para una aplicación práctica.

BIBLIOGRAFIA

@FlightGlobal Flight Global - Airspace Images [En línea]. - 2 de Diciembre de 2007. - <http://www.flightglobal.com/airspace/photos/technologyinaction/a-747-landing-gear-in-the-business-mode-6797.aspx>.

AIRES@ AIRES [En línea] // AIRES. - 2008. - 27 de AGOSTO de 2008. - www.aires.com.co.

ATAC Boletín Económico Mensual - Febrero 2010 - ATAC No 72 [Informe]. - Bogotá : [s.n.], Febrero 2010.

ATAC Panorama Local y Mundial del Sector Aéreo - Atac 10 [Informe]. - Febrero 2010.

Credencial Revista - Historia Biblioteca Luis Angel Arango [En línea] // Colombia Al Vuelo. - 05 de JULIO de 2005. - 20 de SEPTIEMBRE de 2008. - <http://www.lablaa.org/blaavirtual/revistas/credencial/julio2005/vuelo.htm>.

El Hangar Colombiano El Hangar Colombiano @ [En línea]. - 2007. - 5 de Octubre de 2008. - http://themerinos.com/el_hangar_colombiano/aviacion_colombiana.htm.

FAP FUERZA AEREA PERUANA [En línea] // Niveles de mantenimiento. - 2000. - 26 de Agosto de 2008. - <http://www.fap.mil.pe/calidad/articulos/Mantto/Articulos/61%20-%20Niveles%20de%20Mantenimiento.doc..>

Hessburg Jack Air Carrier MRO Handbook [Book] = Reliability Centered Maintenance. - New York : McGraw Hill, 2001. - pp. 251 - 253.

Marušić Željko, Galović Borivoj y Pita Omer OPTIMIZING MAINTENANCE RELIABILITY PROGRAM FOR SMALL FLEETS [Publicación periódica] // TRANSPORT. - Vilnius : VILNIUS GEDIMINAS TECHNICAL UNIVERSITY, 2007. - 3 : Vol. XXII. - ISSN 1648-3480.

Mora Alberto - Gutierrez Mantenimiento Estrategico para Empresas Industriales o de Servicios [Libro]. - Medellin : AMG, 2006. - pág. 306. - ISBN 958-33-8218-3.

Moubray John CONFIABILIDAD.NET @ [En línea]. - 1991. - 12 de Septiembre de 2008. - http://www.confiableidad.net/art_05/RCM/rcm_9.pdf.

Muñoz M.A. Manualvuelo [En línea] // Procedimientos. - Marzo de 2001. - 13 de Septiembre de 2008. - <http://www.manualvuelo.com/PRE/PRE46.html>.

Naval Air Systems Command (NAVAIR) Guidelines for the Naval Aviation Reliability - Centered Maintenance Process [Online]. - July 2005. - Octubre 2009. - www.barringer1.com/mil_files/NAVAIR-00-25-403.pdf.

Revista Iberica REVISTAIBERICA.COM @ [En línea] // Revista de Turismo, Viajes y Vacaciones. - 2007. - 10 de Septiembre de 2008. - http://www.revistaiberica.com/De_interes/aviones.htm.

Solomantenimiento@ solomantenimiento.com [En línea] // Portal del Mantenimiento Industrial: Empresas, Servicios y Suministros. - 2006. - 19 de Septiembre de 2008. - http://www.solomantenimiento.com/m_confiabilidad_crm.htm.

Stachowiak Herbert Allgemeine Modelltheorie [Libro]. - Viena - Nueva York : Springer - Verlag, 1973.

Unidad Administrativa de la Aeronautica Civil (UAEAC) Reglamentos aeronauticos de Colombia [En línea]. - Julio de 2007. - Noviembre de 2009. - http://portal.aerocivil.gov.co/portal/page/portal/Aerocivil_Portal_Internet/normatividad/rac/indice_general.

Unidad Administrativa de la Aeronautica Civil (UAEAC) SISTEMA CONTINUO DE ANALISIS Y VIGILANCIA [En línea]. - Enero de 2003. - Diciembre de 2009. - http://portal.aerocivil.gov.co/portal/pls/portal/!PORTAL.wwpob_page.show?_docname=760214.PDF.